

TITÁN-DIOXID FOTOKATALIZÁTOROK FOTOKATALITIKUS AKTIVITÁSÁNAK NÖVELÉSE

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

GYULAVÁRI TAMÁS ZSOLT

Témavezető:

Dr. Hernádi Klára

egyetemi tanár

Kémia Doktori Iskola

Alkalmazott és Környezeti Kémiai Tanszék

Természettudományi és Informatikai Kar

Szegedi Tudományegyetem



Szeged

2020

1. Bevezetés és célkitűzés

Az emberiséget érintő legsürgetőbb megoldásra váró problémák közül a tiszta ivóvíz biztosítása és az annak megóvását biztosító szennyvízkezelés kiemelt fontosságú. Az olyan széleskörűen használt mesterséges anyagok esetén, mint pl. a peszticidek, gyógyszermaradványok, szerves festékek és más vegyipari termékek a hagyományos vízkezelési eljárások gyakran nem alkalmazhatóak eredményesen, ezért lebontásukhoz alternatív módszerek szükségesek. Az egyik legígéretesebb módszercsalád ezen problémák megoldására a nagyhatékonyságú oxidációs eljárások (AOP – Advanced Oxidation Processes), amelyek közül kutatómunkám során a heterogén fotokatalízissel foglalkoztam. A módszer félvezető fotokatalizátorok használatán alapszik, melyek fénybesugárzás hatására különböző szerves szennyezők lebomlását idézhetik elő. Fontos kiemelni, hogy jelenleg a heterogén fotokatalízis a hagyományos vízkezelési eljárásokhoz képest általában kisebb hatékonyságú, ezért annak gyakorlati alkalmazhatósága miatt alapvető fontosságú a félvezetők fotokatalitikus aktivitásának növelése.

Kutatómunkám során célul tűztem ki titán-dioxid alapú fotokatalizátorok előállítását, fotokatalitikus aktivitásuk növelését különböző módszerekkel, anyagszerkezeti jellemzésüket és vízkezelésben történő alkalmazhatóságuk vizsgálatát. A fotokatalitikus aktivitást oxigénnel történő érzékenyítéssel, alakirányítással és nemesfémleválasztással növeltem, melyet követően a fotokatalitikus aktivitásokat összehasonlítottam saját készítésű és esetenként kereskedelmi forgalomban kapható referencia fotokatalizátorokkal. Továbbá célom volt a katalizátorhatékonyságot növelő eljárás és a megnövelt fotokatalitikus aktivitás ok-okozati viszonyait felderíteni annak érdekében, hogy meghatározzam a fotokatalitikus aktivitás növelése szempontjából releváns tényezőket.

2. Kísérleti módszerek és eljárások

Szol-gél eljárással állítottam elő titán-dioxid alapú fotokatalizátorokat, vizsgáltam a különböző szintézisparaméterek hatását (hidrogén-peroxid koncentráció, pH, széngömb templátok előállításának/tisztításának/eltávolításának módja, Au/Pt nemesfémek jelenléte) az anyagszerkezeti jellemzőkre és a fotokatalitikus aktivitásra.

Egy *Rigaku Miniflex II* típusú röntgen diffraktométert (XRD) használtam a kristályos összetétel vizsgálatához a következő paraméterekkel: $\lambda_{\text{Cu K}\alpha} = 0,15406$ nm; 40 kV és 30 mA; 20 – 40 ($2\theta^\circ$) régió. Az átlagos primer krisztallit méretet a Scherrer-egyenlet segítségével határoztam meg.

A minták morfológiáját egy *Hitachi S-4700 Type II* típusú pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) és egy *FEI TECNAI G² 20 X-Twin* típusú transzmissziós elektronmikroszkóppal (TEM) vizsgáltam.

Egy *ILV-724* típusú diffúz reflexiós modullal ellátott *Jasco-V650* spektrofotométert használtam a diffúz reflexiós spektrumok felvételére ($\lambda = 220 - 800$ nm). A minták tiltottsáv-szélességét a *Kubelka-Munk* elmélet alapján határoztam meg.

A fotokatalizátorok fajlagos felületének meghatározásához a nitrogénadszorpciós méréseket egy *BELCAT-A* típusú műszerrel végeztük el ($T = 77$ K), mely értékeket a BET módszerrel számoltuk ki.

A minták infravörös (IR) spektrumát egy *Bruker Equinox 55* típusú spektrométerrel rögzítettük. A spektrumokat a $400 - 4000$ cm^{-1} tartományban vettük fel 2 cm^{-1} felbontással.

A Raman spektrumokat egy *Thermo Scientific DXR* típusú mikroszkóppal vettük fel $\lambda = 532$ lézer fényforrást használva.

A széngömb templátok termogravimetriás vizsgálatát egy *Netzsch STA409 PC* típusú, *Pfeiffer QMS 200* tömegspektrométerhez kapcsolt berendezéssel végeztük 40 $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ oxigénáramlási sebességet és 5 $^\circ\text{C} \cdot \text{perc}^{-1}$ fűtési sebességet alkalmazva.

Röntgen fotoelektron-spektroszkópiai (XPS) méréseket egy *Specs Phoibos 150 MCD* típusú műszerrel egy félgömb analízátor és töltésszemlegesítő ágyú segítségével végeztük monokromatikus $\text{Al-K}\alpha$ sugárzást használva (1486.6 eV) 14 kV és 20 mA paraméterek mellett.

A fotokatalitikus aktivitás meghatározását egy duplafalú üvegreaktorban végeztem mely négy darab látható fényt sugárzó energiatakarékos lámpával (*Düwi 25920/R7S*, 24W) vagy hat darab UV fényt sugárzó (*Vilber-Lourmat T-6L UV-A*, 6W) lámpával volt körülvéve. A fenol és oxálsav modellszennyezők koncentrációjának változását nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiával (HPLC) vizsgáltam egy *Hitachi* típusú berendezéssel mely egy *Merck Hitachi L-7100* típusú alacsony nyomású pumpából és egy *Merck-Hitachi L-4250* típusú UV-látható detektorból állt.

3. Új tudományos eredmények

T1. Titán-dioxid fotokatalitikus aktivitásának növelése felületi peroxo-csoportok kialakításával

T1.1. Sikeresen alkalmaztam az „oxigénben gazdag felületmódosítás” módszerét rutil fázisú titán-dioxid fotokatalitikus aktivitásának növelésére. Tisztán rutil fázisú titán-dioxid előállításához erősen savas közeget alkalmaztam. A peroxo-csoportokat a titán-dioxid felületén annak szintézise során hidrogén-peroxid felhasználásával alakítottam ki. Megállapítottam, hogy a peroxo-csoportok kialakulásához $n_{\text{Ti}} : n_{\text{H}_2\text{O}_2} = 1 : 2$ anyagmennyiség arányt kell alkalmazni. A peroxo-csoportok jelenlétét XPS mérések segítségével igazoltam. DRS mérésekkel meghatároztam továbbá, hogy a peroxo-csoportok megnövelték a titán-dioxid fényelnyelését a látható fény hullámhossz-tartományában.

T1.2. Bizonyítottam, hogy a peroxo-csoportokat tartalmazó rutil fázisú titán-dioxid nagyobb fotokatalitikus aktivitással rendelkezett a peroxo-csoportokat nem tartalmazó referencia rutilokhoz képest a fenol látható fénnel történő fotokatalitikus bontása során. A megnövekedett fotokatalitikus aktivitást a látható fény tartományába eltolódott fényelnyelés és a peroxo-csoportok elektronvonzó induktív effektusának eredőjével magyaráztam. Rámutattam, hogy a mintáknak a DRS mérések eredményeképpen meghatározott fényelnyelésbeli sorrendje tökéletesen megfeleltethető volt a tapasztalt fotokatalitikus aktivitásokkal.

T1.3. Sikeresen érzékenyítettem amorf és anatóz fázisú titán-dioxidokat is az „oxigénben gazdag felületmódosítás” módszerével. Ehhez a szintézis során a pH értéket 2 fölé kellett emelni; a hőkezelés hőmérsékletének változtatásával pedig a titán-dioxidok kristályos összetételét és kristályossági fokát lehetett befolyásolni. Igazoltam, hogy a pH megemelésével a fotokatalizátorok fényelnyelése rendkívül nagymértékben eltolódott a látható fény tartományába és – változatlan hidrogén-peroxid koncentráció alkalmazása mellett – megnövelte a beépült peroxo-

csoportok mennyiségét is az amorf és anatáz fázisú titán-dioxidok esetében egyaránt.

T1.4. Megállapítottam, hogy az amorf és anatáz fázisú titán-dioxidok fotokatalitikus aktivitása meghaladta a peroxo-csoportot tartalmazó rutil fázisú titán-dioxid fotokatalitikus aktivitását is. Az eredmény jó összhangban volt az amorf és anatáz fázisú titán-dioxidok nagyobb mértékű fényelnyelésével és a peroxo-csoportok nagyobb mennyiségben való jelenlétével. Bizonyítottam, hogy a nagyobb kristályossági fokkal rendelkező rutil fázisú titán-dioxidok az ismételt fotokatalitikus aktivitási tesztek követően nagyobb mértékben őrizték meg a fotokatalitikus aktivitásukat, mint a kisebb kristályossági fokkal rendelkező anatáz és amorf fázisú minták. XPS mérések eredményeképp igazoltam azt is, hogy a peroxo-csoportokat tartalmazó titán-dioxidoknak bizonyos mértékű kristályossági fokkal rendelkezniük kell a peroxo-csoportok okozta fotokatalitikus aktivitásnövekedés megőrzéséhez.

T2. Titán-dioxid fotokatalitikus aktivitásának növelése üreges gömb morfológia kialakításával

T2.1. Megállapítottam, hogy cukoroldat hidrotermális kezelésével olyan széngömbök állíthatóak elő, melyek templátként eredményesen felhasználhatóak üreges gömb morfológiájú titán-dioxidok alakírányított szintéziséhez. Bizonyítottam, hogy a széngömbök prekursor oldatának pH értéke és a hidrotermális kezelés időtartama nagymértékben befolyásolja azok tulajdonságait: a templátok mérete és hozama ezen paraméterekkel szisztematikusan változtatható.

T2.2. Sikeresen állítottam elő széngömb templátok felhasználásával titán-dioxid/széngömb kompozitokat és üreges titán-dioxid szerkezeteket. Elsőként állítottam elő a T1.1. pontban kidolgozott módszer felhasználásával (azaz nem kereskedelmi forgalomban kapható TiO_2 -dal) TiO_2 bevonatot a széngömbök felületén. A titán-dioxid/széngömb kompozitok és titán-dioxid üreges szerkezetek összehasonlításakor megállapítottam, hogy a széngömbök jelenléte jelentősen

csökkentette a minták kristályossági fokát és fotokatalitikus aktivitását a peroxo-csoportot tartalmazó kiindulási katalizátorhoz képest. Igazoltam, hogy a széngömb templátok kalcinálással történő eltávolítása során keletkező üreges titán-dioxid gömbök minden esetben nagyobb kristályossági fokkal és fotokatalitikus aktivitással rendelkeztek.

T2.3. Kimutattam, hogy a titán-dioxid üreges szerkezetek morfológiáját, kristályos összetételét és fotokatalitikus aktivitását nagymértékben befolyásolták a szintézis során alkalmazott paraméterek (prekursor mennyisége, a templátok tisztításának és eltávolításának módja). XPS mérések alapján igazoltuk, hogy a leghatékonyabb minta kiemelkedő fotokatalitikus aktivitását a fotokatalizátor felületének legkisebb széntartalmával és a poláris O–C=O funkciós csoportok jelenlétével lehetett összefüggésbe hozni, mely elősegítette a fotokatalizátor felülete és a víz (a fotokatalitikus aktivitási vizsgálat mátrixa) közötti közvetlen kapcsolat létrejöttét.

T2.4. Sikeresen állítottam elő szabályos üreges gömb morfológiájú titán-dioxidokat kereskedelmi titán(IV)-butoxid prekursor felhasználásával. Megállapítottam, hogy a templátok tisztításához használt oldószer (aceton, etanol) nem befolyásolta a titán-dioxid üreges gömbök tulajdonságait. Az 500 °C-on végrehajtott hőkezelés szabályos üreges gömb morfológiájú anatóz fázisú titán-dioxidokat eredményezett, míg 800 °C-os hőkezelés hatására kevésbé szabályos morfológiájú rutil fázisú titán-dioxidok keletkeztek.

T2.5. Kimutattam, hogy az üreges gömb morfológiájú titán-dioxidok nagyobb fotokatalitikus aktivitással rendelkeztek a nem-üreges gömb morfológiájú referenciához képest fenol és oxálsav modellszennyezők UV fénnel történő fotokatalitikus bontása során. Közvetett bizonyítékok és saját tapasztalataink alapján kimutattam, hogy a megnövekedett fotokatalitikus aktivitás a minták hatékonyabb fénycsapdázó tulajdonságával hozható összefüggésbe: a fotokatalitikus aktivitás abban a sorrendben növekedett, ahogy a minták gömbátmérőinek nagyobb hányada esett a gerjesztő fény hullámhosszána egész

számú többszörösének közelébe, vagyis ahol a konstruktív interferencia fellépése nagyobb mértékben volt feltételezhető.

T3. A titán-dioxid üreges gömb morfológia hatékonyságának növelése a felületre leválasztott Au és Pt nemesfém nanorészecskékkel

T3.1. Bebizonyítottam, hogy az üreges gömb alakú titán-dioxidok felületére is lehet választani Au és Pt nemesfém nanorészecskéket a morfológia megőrzése mellett. Megállapítottam, hogy a nemesfémek jelenléte jellemzően növekedést eredményezett a fotokatalitikus aktivitás vonatkozásában ezzel alátámasztva azt, hogy a két katalizátorhatékonyságot növelő módszer eredményesen alkalmazható egymás mellett a fotokatalitikus aktivitás jelentős mértékű megnöveléséhez, UV és látható fénnel történő gerjesztés esetén egyaránt.

4. Az eredmények hasznosíthatósága

Kutatómunkám során sikeresen állítottam elő titán-dioxid alapú fotokatalizátorokat és különböző módszerek alkalmazásával növeltem fotokatalitikus aktivitásukat. Eredményeim jó alapot szolgálhatnak ahhoz, hogy titán-dioxidok fotokatalitikus aktivitását felületmódosítással, alakirányítással és optikai tulajdonságok javításával oly mértékben meg lehessen növelni, hogy azok eredményesen alkalmazhatóak legyenek hagyományos víztisztítási eljárások kiegészítéseként. Napjainkban kiemelkedő jelentőségű a látható fénnel is gerjeszthető fotokatalizátorok fejlesztése, így az ehhez kapcsolódó eredményeim hozzájárulhatnak ilyen anyagok alkalmazásához, melyek képesek lehetnek nagyobb hatékonysággal hasznosítani a mesterséges fényt és a napfényt is, ezáltal lehetővé téve használatukat bel- és kültéri alkalmazásokhoz, öntisztuló és levegőtisztító hatású felületek kialakításához, illetve víztisztításhoz egyaránt. Reményeim szerint eredményeimmel hozzájárultam új típusú anyagok fejlesztéséhez, továbbá a szintézisparamétereknek és anyagszerkezeti jellemzőknek a titán-dioxidok fotokatalitikus aktivitásra gyakorolt hatásának felderítéséhez, melyek hasznosak lehetnek a hasonló tématerületen kutatók számára is.

5. Tudományos közlemények

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10052868

Az értekezés témájához tartozó közlemények:

[1] **T. Gyulavári**, Z. Pap, G. Kovács, L. Baia, M. Todea, K. Hernádi, G. Veréb: *Peroxo group enhanced nanorutile as visible light active photocatalyst*
Catalysis Today, 284 (2017) 129-136.

IF = 4.667

[2] B. Réti, G.I. Kiss, **T. Gyulavári**, K. Baan, K. Magyari, K. Hernadi: *Carbon sphere templates for TiO₂ hollow structures: Preparation, characterization and photocatalytic activity*
Catalysis Today, 284 (2017) 160-168.

IF = 4.667

[3] **T. Gyulavári**, G. Veréb, Z. Pap, A. Dombi, K. Hernádi: *Associating low crystallinity with peroxo groups for enhanced visible light active photocatalysts*
Catalysis Today, 313 (2018) 231-238.

IF = 4.888

[4] **T. Gyulavári**, G. Veréb, Z. Pap, B. Réti, K. Baan, M. Todea, K. Magyari, I.M. Szilágyi, K. Hernadi: *Utilization of Carbon Nanospheres in Photocatalyst Production: From Composites to Highly Active Hollow Structures*
Materials, 12 (2019) 2537.

IF = 2.972

[5] **T. Gyulavári**, K. Kovács, Z. Kovács, E. Bárdos, G. Kovács, K. Baan, K. Magyari, G. Veréb, Zs. Pap, K. Hernadi: *Preparation and characterization of noble metal modified titanium dioxide hollow spheres – new insights concerning the light trapping efficiency*
Submitted, Acta Materialia

(IF = 7.293)

ΣIF = 17.194

ΣIdézetek = 39 (Független: 33)

Az értekezés témájához szorosan nem kapcsolódó, nemzetközi folyóiratban megjelent tudományos közlemények:

[6] G. Veréb, **T. Gyulavári**, Z. Pap, L. Baia, K. Mogyorósi, A. Dombi, K. Hernádi: *Visible light driven photocatalytic elimination of organic- and microbial pollution by rutile-phase*

titanium dioxides: new insights on the dynamic relationship between morpho-structural parameters and photocatalytic performance

RSC Advances, 5 (2015) 66636-66643.

IF = 3.289

[7] A. Szabo, E. Kecsenovity, Z. Papa, **T. Gyulavari**, K. Nemeth, E. Horvath, K. Hernadi: *Influence of synthesis parameters on CCVD growth of vertically aligned carbon nanotubes over aluminum substrate*

Scientific Reports, 7 (2017) 9557.

IF = 4.122

[8] E. Bárdos, G. Kovács, **T. Gyulavári**, K. Németh, E. Kecsenovity, P. Berki, L. Baia, Z. Pap, K. Hernádi: *Novel synthesis approaches for WO₃-TiO₂/MWCNT composite photocatalysts-problematic issues of photoactivity enhancement factors*

Catalysis Today, 300 (2018) 28-38.

IF = 4.888

[9] G. Simon, **T. Gyulavári**, K. Hernádi, M. Molnár, Z. Pap, G. Veréb, K. Schrantz, M. Náfrádi, T. Alapi: *Photocatalytic ozonation of monuron over suspended and immobilized TiO₂ – study of transformation, mineralization and economic feasibility*

Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 356 (2018) 512-520.

IF = 3.261

[10] G. Veréb, V. Kálmán, **T. Gyulavári**, S. Kertész, S. Beszédes, G. Kovács, K. Hernádi, Z. Pap, C. Hodúr, Z. László: *Advantages of TiO₂/carbon nanotube modified photocatalytic membranes in the purification of oil-in-water emulsions*

Water Science and Technology-Water Supply, 19 (2019) 1167-1174.

IF = 0.922

[11] A. Szabó, P. Andricevic, Z. Pápa, **T. Gyulavári**, K. Németh, E. Horváth, L. Forró, K. Hernadi: *Growth of CNT Forests on Titanium Based Layers, Detailed Study of Catalysts*

Frontiers in Chemistry, 6 (2018) 593.

IF = 3.782

[12] A. Szabó, L.P. Bakos, D. Karajz, **T. Gyulavári**, Z.R. Tóth, Z. Pap, I.M. Szilágyi, T. Igricz, B. Párditka, Z. Erdélyi, K. Hernadi: *Decoration of Vertically Aligned Carbon Nanotubes with Semiconductor Nanoparticles Using Atomic Layer Deposition*

Materials, 12 (2019) 1095.

IF = 2.972

[13] K. Magyar, Z.R. Tóth, Z. Pap, E. Licarete, D.C. Vodnar, M. Todea, **T. Gyulavári**, K. Hernadi, L. Baia: *Insights into the effect of gold nanospheres, nanotriangles and spherical nanocages on the structural, morphological and biological properties of bioactive glasses*

Journal of Non-Crystalline Solids, 522 (2019) 119552.

IF = 2.6

[14] L. Nánai, A. Szabó, **T. Gyulavári**, J. Budai, K. Hernadi: *Manual spray coating: A cheap and effective method to build catalyst layers for carbon nanotube forest growth*

Thin Solid Films, (2019) 137491.

IF = 1.888

$$\Sigma IF = 27.724$$

$$\Sigma \text{Idézetek} = 37 \text{ (Független: 25)}$$

$$\Sigma \Sigma IF = 44.918$$

$$\Sigma \Sigma \text{Idézetek} = 76 \text{ (Független: 58)}$$

Nemzetközi és hazai konferencia-részvételek:

(1) **Gyulavári Tamás**: Vízkezelés különböző részecskeméretű rutil fázisú titán-dioxid fotokatalizátorokkal

SZTE-TTIK Környezettudományi Diákköri Konferencia

Szeged, Magyarország (2014) – szóbeli előadás (1. helyezés)

(2) **Gyulavári Tamás**: Vízkezelés különböző részecskeméretű rutil fázisú titán-dioxid fotokatalizátorokkal

XIV. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia

Pécs, Magyarország (2014) – szóbeli előadás (1. helyezés)

(3) **Tamás Gyulavári**, Gábor Veréb, Zsolt Pap, László Manczinger, Károly Mogyorósi, András Dombi, Klára Hernádi: Visible light driven photocatalytic elimination of organic and microbial pollutions by rutile phase titanium-dioxides

4th European Young Engineers Conference

Varsó, Lengyelország (2015) – poszter prezentáció

(4) **Tamás Gyulavári**, Gábor Veréb, Zsolt Pap, Klára Hernádi, András Dombi: Látható fénnel történő vízkezelés rutil fázisú titán-dioxid fotokatalizátorokkal

Proceedings of the 21st International Symposium on Analytical and Environmental Problems

Szeged, Magyarország (2015) – poszter prezentáció

(5) **Gyulavári Tamás**, Kása Zsolt, Veréb Gábor, Saszet Kata, Pap Zsolt, Dombi András, Baia Lucian, Hernádi Klára: Vízkezelés látható fényre aktív titán-dioxid és bizmut-volframát fotokatalizátorokkal

Ötödik Környezetkémiai Szimpózium

Tihany, Magyarország (2016) – szóbeli előadás

(6) **Tamás Gyulavári**, Gábor Veréb, Zsolt Pap, András Dombi, Klára Hernádi: *Hidrogén-peroxid alkalmazása látható fénnel gerjeszthető anatáz fázisú titán-dioxidok előállítására*
Proceedings of the 22nd International Symposium on Analytical and Environmental Problems
Szeged, Magyarország (2016) – poszter prezentáció

(7) **Gyulavári Tamás**, Veréb Gábor, Pap Zsolt, Dombi András, Hernádi Klára: *Látható fénnel gerjeszthető, nem adalékolt, anatáz fázisú titán-dioxid előállítása*
XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia
Temesvár, Románia (2016) – szóbeli előadás

(8) **Gyulavári Tamás**, Veréb Gábor, Pap Zsolt, Kovács Gábor, Baia Lucian, Todea Milica, Dombi András, Hernádi Klára: *Facile sol-gel synthesis for the preparation of highly visible light active anatase titanium dioxides*
5th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes
Prága, Csehország (2017) – poszter prezentáció

(9) **Tamás Gyulavári**, Gábor Veréb, Zsolt Pap, Klára Hernádi: *Üreges szerkezetű titán-dioxidok előállítása szénigőmb templát segítségével*
Proceedings of the 23rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems
Szeged, Magyarország (2017) – poszter prezentáció

(10) **Gyulavári Tamás**, Veréb Gábor, Pap Zsolt, Hernádi Klára: *Üreges szerkezetű titán-dioxidok előállítása szénigőmb templát segítségével*
XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia
Déva, Románia (2017) – szóbeli előadás

(11) **Tamás Gyulavári**, Gábor Veréb, Zsolt Pap, Klára Hernádi: *Preparation of rutile titanium dioxide hollow structures with high visible light activity*
III. International Symposium on Nanoparticles/Nanomaterials and Applications
Lisszabon, Portugália (2018) – poszter prezentáció

(12) **Gyulavári Tamás**, Veréb Gábor, Pap Zsolt, Hernádi Klára: *Szénigőmb segítségével szintetizált nagy fotokatalitikus aktivitású titán-dioxid üreges szerkezetek előállítása*
XXIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia
Szovátafürdő, Románia (2018) – szóbeli előadás

(13) **Tamás Gyulavári**, Kata Kovács, Boglárka Hampel, Gábor Veréb, Zsolt Pap, Klára, Hernádi: *Preparation and characterization of noble metal modified titanium dioxide hollow structures*
II. Sustainable Raw Materials International Project Week And Scientific Conference
Szeged, Magyarország (2019) – szóbeli előadás

(14) **Tamás Gyulavári**, Gábor Veréb, Balázs Réti, Kornélia Baán, Milica Todea, Klára Magyar, Zsolt Pap, Imre Miklós Szilágyi, Klára Hernádi: *The quality of carbon spheres as a crucial parameter in the pre-determination of the photocatalytic activity of titania hollow structures*

6th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes
Portorož, Szlovénia (2019) – poszter prezentáció

(15) **Tamás Gyulavári**, Kata Kovács, Boglárka Hampel, Gábor Veréb, Zsolt Pap, Klára Hernádi: *Preparation and characterization of noble metal modified titanium dioxide hollow structures*

6th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes
Portorož, Szlovénia (2019) – poszter prezentáció

(16) **Gyulavári Tamás**, Kovács Kata, Veréb Gábor, Pap Zsolt, Hernádi Klára: *Nemesfémekkel módosított üreges gömb szerkezetű titán-dioxidok előállítása és jellemzése*

XV. Nemzetközi Vegyészkonferencia
Kolozsvár, Románia (2019) – szóbeli előadás

Nemzetközi és hazai konferencia-részvételek társszerzőként:

(17) Veréb Gábor, Manczinger László, **Gyulavári Tamás**, Mogyorósi Károly, Dombi András, Hernádi Klára: *Photocatalytic water treatment by various rutile phase TiO₂ photocatalysts under visible light irradiation*

Fourth International Conference on Semiconductor Photochemistry
Prága, Csehország (2013) – poszter prezentáció

(18) Gábor Veréb, **Tamás Gyulavári**, Zsolt Pap, Lucian Baia, Teodora Radu, Károly Mogyorósi, András Dombi, Klára Hernádi: *Látható fénnel gerjesztett rutil fázisú titán-dioxidok a fotokatalitikus víztisztításban*

XX. Nemzetközi Vegyészkonferencia
Kolozsvár, Románia (2014) – poszter prezentáció

(19) Gácsi Attila, Kutus Bence, Cseh Attila, Béltéki Rita, **Gyulavári Tamás**, Bárdos Enikő, Pálkövi István, Sipos Pál: *Formation of Ca-Al containing layered double hydroxides and its solubility product determination in highly caustic solutions*

NanoOstrava 2015 – Nanomaterials and Nanotechnology Meeting
Ostrava, Csehország (2015) – poszter prezentáció

(20) Attila Gácsi, Bence Kutus, Rita Béltéki, **Tamás Gyulavári**, Attila Cseh, István Pálkövi, Pál Sipos: *Determining of the solubility product of CaAl-layered double hydroxide*

18th International Symposium on Intercalation Compounds
Strasbourg, Franciaország (2015) – poszter prezentáció

(21) Bárdos, Enikő, Kovács Gábor, Orbán Eszter, **Gyulavári Tamás**, Németh Krisztián, Kecsenovity Egon, Berki Péter, Baia Lucian, Pap Zsolt, Hernádi Klára: *Szerves modellszennyezők lebontása TiO_2 - WO_3 alapú nanokompozitok segítségével*

Ötödik Környezetkémiai Szimpózium

Tihany, Magyarország (2016) – szóbeli előadás

(22) Bárdos Enikő, Kovács Gábor, **Gyulavári Tamás**, Németh Krisztián, Kecsenovity Egon, Berki Péter, Baia Lucian, Pap Zsolt, Hernádi Klára: *WO_3 - TiO_2 /MWCNT nanokompozitok előállítása és fotokatalitikus vizsgálata*

Proceedings of the 22nd International Symposium on Analytical and Environmental Problems
Szeged, Magyarország (2016) – poszter prezentáció

(23) Gergő Simon, **Tamás Gyulavári**, Klára Hernádi, Zsolt Pap, Gábor Veréb, Krisztina Schrantz, Tünde Alapi: *Photocatalytic ozonation of monuron over suspended and immobilized TiO_2*

Proceedings of the 22nd International Symposium on Analytical and Environmental Problems
Szeged, Magyarország (2016) – szóbeli előadás

(24) Bárdos Enikő, Kovács Gábor, **Gyulavári Tamás**, Németh Krisztián, Kecsenovity Egon, Berki Péter, Baia Lucian, Pap Zsolt, Hernádi Klára: *WO_3 - TiO_2 /MWCNT nanokompozitok előállítása és fotokatalitikus aktivitása*

XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia

Temesvár, Románia (2016) – szóbeli előadás

(25) Pap Zsolt, Fodor Szilvia, **Gyulavári Tamás**, Kovács Gábor, Tóth Zsejke, Kása Zsolt, Bárdos Enikő, Rózsa Georgina, Simon Gergő, Kozmér Zsuzsanna et al.: *Új nanokompozitok és nanoszerkezetek a víztisztításban*

XXII. Nemzetközi Vegyészkonferencia

Temesvár, Románia (2016) – szóbeli előadás

(26) Szabó Anna, Kovács Anita, **Gyulavári Tamás**, Kovács Gábor, Pap Zsolt, Hernádi Klára: *Synthesis and characterization of vertically aligned carbon nanotubes and CNT- WO_3 -based composites*

5th European Conference on Environmental Applications of Advanced Oxidation Processes
Prága, Csehország (2017) – poszter prezentáció

(27) Gábor Veréb, **Tamás Gyulavári**, Orsolya Virág, Krisztina Vajda, Zsolt Pap, Tünde Alapi, Zsuzsanna László, András Dombi, Klára Hernádi: *UV és látható fénnel gerjeszthető fotokatalizátorok a napfényt hasznosító heterogén fotokatalízisben*

Proceedings of the 23rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems
Szeged, Magyarország (2017) – poszter prezentáció

(28) Kovács Gábor, Szabó Anna, Kovács Anita, **Gyulavári Tamás**, Pap Zsolt, Hernádi Klára: *Függőlegesen rendezett szerkezetű szén nanocsövek és CNT-WO₃-alapú kompozitjainak előállítás és jellemzése*

XXIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia

Déva, Románia (2017) – szóbeli előadás

(29) Klára Hernádi, Anna Szabó, Zsuzsanna Pápa, **Tamás Gyulavári**, Krisztián Németh, Judit Budai: *CCVD growth of vertically aligned carbon nanotubes over various substrates*

III. International Symposium on Nanoparticles/Nanomaterials and Applications

Lisszabon, Portugália (2018) – szóbeli előadás

(30) Viktória Kálmán, Gábor Veréb, **Tamás Gyulavári**, Szabolcs Kertész, Sándor Beszédes, Klára Hernádi, Cecilia Hodúr, Zsuzsanna László: *Advantages of TiO₂/carbon Nanotube Modified Photocatalytic Membranes in the Purification of Oil in Water Emulsions*

10th Eastern European IWA Young Water Professionals Conference

Zágráb, Horvátország (2018) – poszter prezentáció

(31) Klára Hernádi, Anna Szabó, Zsuzsanna Pápa, **Tamás Gyulavári**, Krisztián Németh, Zsolt Tóth, Judit Budai: *Challenges in The Growth of Vertically Aligned Carbon Nanotubes: Substrate, Catalyst Layer, CVD Conditions and Much More*

Nanoworld Conference: Useful Science and Technology for a Just World

San Francisco, Amerikai Egyesült Államok (2018) – szóbeli előadás

(32) Kálmán Viktória, Kertész Szabolcs, Beszédes Sándor, Pap Zsolt, **Gyulavári Tamás**, Hodúr Cecilia, László Zsuzsanna, Veréb Gábor: *Olajemulziók membránszűrése TiO₂/szén-nanocső kompozittal módosított fotokatalitikus membránokkal*

XIV. Nemzetközi Vegyészkonferencia

Szovátafürdő, Románia (2018) – poszter prezentáció